

妊娠后期添加酒糟对母猪繁殖性能和初乳成分的影响

马思奇¹ 张雯韬¹ 靳喜庆² 余冰² 伍树松^{1*}

(1. 湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410128; 2. 酒鬼酒股份有限公司, 吉首 416000)

摘要: 本试验旨在探究妊娠后期母猪饲料中添加 1% 酒糟 (distillers' grains, DG) 对母猪繁殖性能和初乳成分的影响。选取 72 头妊娠 80 天左右的健康 PIC 母猪, 将其分为 2 个组, 每个组 6 个重复, 每个重复 6 头, 对照组饲喂基础日粮, 酒糟组在基础日粮中补充 1% 馥郁香型白酒酒糟, 试验周期为妊娠 80 天至分娩结束。试验结果, 与对照组相比, 酒糟组仔猪窝重、活仔数、健仔数均显著上升 ($P < 0.05$), IUGR 仔猪数显著降低 ($P < 0.05$); 酒糟组母猪初乳中尿素氮含量显著降低 ($P < 0.05$), 但免疫球蛋白 (Ig A、Ig G、Ig M) 水平无显著差异 ($P > 0.05$); 生化指标分析表明, 酒糟组血清中甘油三酯 (TG) 显著上升 ($P < 0.05$), 且总胆固醇 (TC)、高密度脂蛋白 (HDL-C)、总超氧化物歧化酶 (T-SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 及胎盘组织中谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 水平极显著上升 ($P < 0.01$), 但白细胞介素-2 (IL-2) 水平显著下降 ($P < 0.05$); 通过分析粪便菌群发现, 饲料中添加 1% DG 对母猪肠道微生物群聚类、chao1 指数、observed-species、PD-whole-tree 和 shannon 指数无显著影响 ($P > 0.05$); 但 DG 显著降低了母猪肠道微生物中 *Spirochaetota* 和 *Treponema* ($P < 0.05$) 的相对丰度, 且显著提高了 *Clostridiaceae* 的丰度 ($P < 0.05$)。综上所述, 母猪妊娠后期饲料中补充 1% 酒糟可有效改善母猪繁殖性能, 提高母猪抗氧化能力, 缓解炎症并影响肠道微生物结构。

关键词: 酒糟; 母猪; 繁殖性能; 乳成分; 微生物

Dietary supplementation of distiller's grains in late pregnancy on reproductive performance and colostrum composition of sows

Ma Siqi¹ Zhang Wentao¹ Jin Xiqing² Yubing² Wu Shusong¹

(1. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128; 2. Jiugui Liquor Co., Ltd., Jishou 416000)

Abstract: This study aimed to investigate the effects of 1% distillers' grains (DG) on reproductive performance of sows in late pregnancy. A total of 72 healthy PIC sows (80 days of pregnancy) were randomly divided into two groups, with 6 replicates in each group and 6 sows in each replicate. The control group was fed a basal diet, and the DG group was supplemented with 1% Fuyu flavor DG in the basal diet. The experimental period was from 80 days of pregnancy to delivery. The results showed that the litter weight,

收稿日期: 2024-11-20

修回日期: 2025-01-08

基金项目: 湖南省重点研发计划项目 (2024JK2151), 国家重点研发计划项目 (2023YFD1302300)

作者简介: 马思奇 (2000—), 女, 湖南岳阳人, 硕士研究生, 从事单胃动物营养研究, E-mail: 1171761477@qq.com

*通讯作者: 伍树松, 教授, 博士生导师, E-mail: wush688@hunau.edu.cn

number of live piglets and number of healthy piglets in the DG group were significantly higher than the control group ($P<0.05$), while the number of intrauterine growth retardation (IUGR) piglets was significantly decreased ($P<0.05$). DG decreased the content of urea nitrogen in colostrum of sows ($P<0.05$), but there was no significant difference in immunoglobulin (Ig A, Ig G, Ig M) levels ($P>0.05$). Analysis on biochemical indicators showed that DG increased the serum triglyceride (TG), cholesterol (TC), high-density lipoprotein (HDL-C), total superoxide dismutase (T-SOD) and catalase (CAT) ($P<0.05$), but decreased the level of interleukin-2 (IL-2) ($P<0.05$). Additionally, DG increased the glutathione peroxidase (GSH-Px) level in placental tissue ($P<0.01$). Analysis on fecal microbiota showed that DG had no significant effect on the intestinal microflora clustering, chao1 index, observed-species, PD-whole-tree and shannon index ($P>0.05$); however, DG reduced the relative abundance of *Spirochaetota* and *Treponema* ($P<0.05$), and increased the abundance of *Clostridiaceae* ($P<0.05$). In summary, supplementation of 1% DG in the diet of sows during late pregnancy can effectively improve the reproductive performance and antioxidant capacity, alleviate inflammation and modulate the gut microbiota structure of sows.

Keywords: Distillers' grains, Sow, Reproductive performance, Milk composition, Gut microbiota

馥郁香型酒糟是由高粱、糯米、大米、小麦和玉米等粮食通过微生物固态发酵、蒸馏之后的副产物，内含大量蛋白质、矿物质、纤维等营养物质^[1]。前人研究发现，酒糟中含有的蛋白质、B族维生素等营养物质不仅能帮助孕妇消肿，还能能够在孕妇哺乳期利乳^[2]。但由于酿酒过程的特殊性，新鲜酒糟中存在水分和稻壳较多、粘性和酸度大、这些特殊的性质使得其容易霉变、不易运输和储藏等，从而导致新鲜酒糟利用极率低。2023年，白酒产量达到629万千升(kL)，酒糟产量超2000万吨，这些酒糟传统的处理方式直接烘干或制成有机肥料，这一过程消耗大量能量，且酒糟利用率低。近些年来，随着国家“双碳”战略的实施，酒糟发酵类饲料资源的开发及利用方面发展迅速，但依旧存在糟渣利用不全面，使用效果不稳定等问题。

现代规模化养殖中，母猪的生产效率极大程度影响着猪场经济效益。母猪长期处于生产状态，伴随而来的是母猪出现便秘、产程过长、窝产体重差异大等一系列问题^[3,4]。此外，妊娠母猪因高

产而导致应激也是影响其繁殖性能与产仔数减少的重要原因之一^[5-7]。酒糟作为一类具有改善妊娠母猪繁殖性能潜力的副产物，探究酒糟对母猪繁殖性能的影响与其在母猪饲料中的合理利用具有重要意义。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本试验妊娠母猪与饲料由湖南鑫广安农牧有限公司提供，馥郁香型酒糟原料由湖南酒鬼酒股份有限公司提供。抗氧化能力、血清生化检测试剂盒为南京建成生物科技有限公司相关检测试剂盒；免疫球蛋白、炎症因子检测试剂盒为鹿科（武汉）生物科技有限公司相关检测试剂盒。

1.2 试验设计

本试验选取72头胎次相近(4~6胎)妊娠80天左右的PIC妊娠母猪，随机分为2个组，每个组6个重复，每个重复6头猪。其中，空白对照组饲喂基础日粮，酒糟(DG)组饲喂含1%酒糟的日粮。试验周期为妊娠第80天至分娩结束，试验期严格按照饲养标准饲养。

1.3 饲养管理

本试验全程严格按照猪场母猪喂料程序进行饲喂。每天分别在 6:00 和 15:00 进行饲喂，妊娠第 80 天~113 天对母猪限制饲养（2.5 kg/d）；并在临产前一周将母猪转入产房产床上待产，保持产房干燥、清洁和通风。在母猪临产之前对母猪的外阴和乳房进行清洁并且消毒。分娩后母猪自由采食。

1.4 样品采集和数据记录

分娩当天，分别记录母猪的总产仔数、活仔数、健仔数、宫内发育迟缓（IUGR）仔猪数、死胎数、木乃伊胎、出生窝重、胎盘重。（其中：健仔数为初生重大于 600g 的活仔数量、IUGR 仔猪数为在母体子宫内生长发育障碍的仔猪数量）。粪便采集：在母猪分娩前，戴手套收集新鲜粪便，去除表面选取中间部分装于冻存管中，-20℃冰箱保存待测。血液采集：在母猪分娩后，使用 5 mL 采血管、耳缘静脉采血方式进行血液样本收集，采血后将其静置 2h，使用低速旋转离心机 3500 rpm/min 离心 10min 取血清，分装于多个 1.5 mL 离心管中，-80℃保存备用。初乳采集：在母猪前、中、后乳头收集初乳至 50 mL 离心管中，每个处理组选择 6 头每头各采集 50 mL 初乳。胎盘采集：分娩结束后，胎盘组织分娩出时，从每组中选择 6 头猪对应的胎盘组织（离脐带连接点 2 到 4 厘米处）立即采集。将新鲜胎盘组织固定在 4%多聚甲醛中，剩下的置于 4℃冰箱保存。

1.5 检测指标

繁殖性能数据收集：总产仔数、活仔数、健仔数、IUGR 仔猪数、死胎数、木乃伊胎、出生窝重、胎盘重、胎盘效率。

仔猪均重=出生窝重/总产仔数；

胎盘效率=仔猪出生重量 / 胎盘重量。

血清检测：血清中检测血清生化指标及抗氧化指标：葡萄糖(GLU)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C)、总抗氧化能力(T-AOC)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)、丙二酮(MDA)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、过氧化氢酶(CAT)，均使用试剂盒（南京建成生物工程研究所）测定；检测血清中炎症细胞因子含量：白细胞介素-1 β (IL-1 β)、白细胞介素-2(IL-2)、白细胞介素-6(IL-6)、抗肿瘤因子- α (TNF- α)，均根据 ELISA 试剂盒的检测方法；

初乳检测：根据试剂盒的检测方法测定初乳成分及免疫球蛋白 A (Ig A)、免疫球蛋白 G (Ig G)、免疫球蛋白 M (Ig M) 水平；

进行指标检测时，均严格按照各检测试剂盒附带说明书进行操作。

肠道微生物 DNA 提取和 16S rDNA 测序的生物学分析：采用 MoBio Laboratories 的 PowerSoil DNA Isolation Kit 提取肠道微生物的 DNA。在完成 DNA 提取后，通过 1%琼脂糖凝胶电泳评估提取的基因组 DNA 质量，合格的样本需在-20℃下保存以备后续实验。16S rDNA 测序中，应用 338F 和 806R 引物扩增细菌 16S rRNA 基因的 V3-4 区域。PCR 反应在 Eppendorf 的 Mastercycler Gradient 上进行，总体积 25 μ l，包含 KAPA 2G Robust Hot Start Ready Mix、引物和模板 DNA。PCR 条件为 95℃预变性 5 分钟，随后 28 个循环的 95℃ 45 秒、55℃ 50 秒、72℃ 45 秒，以及 72℃延伸 10 分钟。为降低 PCR 偏差，合并每个样本的三个 PCR 产物。利用 QIAGEN 的 QIAquick Gel Extraction Kit 纯化 PCR 产物，并通过 Real Time PCR 定量。Allwegene 公司在北京使用 Miseq 平台进行测序。数据分析包括图像分

析、碱基调用和误差估计，采用 Illumina 分析管线 2.6 版。筛选掉短于 200 bp、质量分数低 (≤ 20)、含有模糊碱基或与引物序列和条形码标签不完全匹配的序列。合格的序列根据样本特定的条形码序列进行分离，并用 Illumina 分析管线 2.6 版进行修剪。使用 QIIME 软件分析数据集，序列在 97% 相似度下聚类为 OTU，计算丰富度和多样性指数。最终，利用 RDP 分类器工具对序列进行分

2.1 饲料添加酒糟对母猪繁殖性能的影响

如表 1 所示，与空白对照组相比，在母猪妊娠后期饲料中补充 1% 酒糟可增加母猪产活仔数，($P < 0.01$)，同时，酒糟组仔猪初生窝重高于空白对照组 ($P < 0.05$)。与对照组相比，酒糟组 IUGR 仔猪数降低，存在显著差异 ($P < 0.05$)。由

类。

数据分析：数据收集后统一使用 Excel 2016 进行初步整理，SPSS 20.0 版本进行统计学分析，试验数据均使用采用独立样本 t 检验进行样本差异的显著性分析，分析结果均以平均值 \pm 标准差进行表示，并以 $P < 0.05$ 表示差异显著、以 $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 试验结果

存在显著差异 ($P < 0.05$)，健仔数极显著高于对照组

表 2 可知，在母猪妊娠后期饲料中添加 DG 对母猪胎盘效率无显著影响。

表 1 饲料添加酒糟对母猪繁殖性能的影响

Table 1 Effects of dietary distiller's grains on reproductive performance of sows

项目	对照组 CTL	酒糟组 DG	P-值 P-value
总产仔数	14.33 \pm 1.30	15.75 \pm 2.41	0.088
活仔数	13.16 \pm 1.33	14.75 \pm 1.95	0.031
健仔数	12.33 \pm 1.61	14.50 \pm 1.78	0.005
IUGR 仔猪数	0.83 \pm 0.83	0.25 \pm 0.45	0.048
死胎	1.16 \pm 1.19	1.00 \pm 1.95	0.803
木乃伊	0.08 \pm 0.28	0.25 \pm 0.86	0.534
畸形	0.08 \pm 0.28	0.08 \pm 0.28	1
初生窝重	18.36 \pm 4.06	22.39 \pm 4.98	0.041
仔猪均重	1.28 \pm 0.27	1.43 \pm 0.31	0.206

表 2 饲料添加酒糟对母猪胎盘效率的影响

Table 2 Effects of dietary distiller 's grains on placental efficiency of sows

项目	对照组 CTL	酒糟组 DG	P-值 P-value
胎盘重	3.22 \pm 0.13	3.85 \pm 0.92	0.159
胎盘效率	5.63 \pm 1.12	6.00 \pm 1.39	0.621

2.2 饲料添加酒糟对母猪初乳成分的影响

由表 3 可知，与对照组相比，饲料中添加酒糟的妊娠母猪初乳中尿素氮含量低于对照组

($P<0.05$)，但对乳脂率、乳蛋白率、乳糖率、去脂干物质、总干物质等指标无显著影响。

表 3 饲料添加酒糟对母猪初乳中乳成分的影响

Table 3 Effects of dietary distiller's grains on milk composition in colostrum of sows

项目	对照组 CTL	酒糟组 DG	P-值 P-value
乳脂率 (%)	5.89±0.85	5.22±0.81	0.197
乳蛋白率%	19.95±3.05	18.39±3.64	0.441
乳糖率 (%)	2.05±0.25	1.75±0.24	0.062
去脂干物质	27.61±3.53	24.98±3.33	0.214
尿素氮 (mg/dL)	68.70±7.15	54.58±9.20	0.014
总干物质	36.37±3.66	34.07±4.29	0.342

此外，在母猪妊娠后期饲料中添加酒糟对母猪初乳中的 IgA、IgG、IgM 均无显著影响 ($P>0.05$)，

但 Ig A 含量存在上升趋势 ($P<0.10$) (表 4)。

表 4 饲料添加酒糟对母猪初乳中免疫球蛋白水平的影响

Table 4 Effects of dietary distiller's grains on immunoglobulin levels in colostrum of sows

项目	对照组 CTL	酒糟组 DG	P-值 P-value
Ig A (mg/mL)	0.16±0.01	0.18±0.01	0.092
Ig G (mg/mL)	0.43±0.11	0.34±0.05	0.125
Ig M (mg/mL)	337.10±48.74	378.26±43.44	0.154

2.3 饲料添加酒糟对母猪血清脂质代谢指标的影响

如表 5 所示，在母猪妊娠后期饲料中添加酒糟提高了血清中总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG)、

高密度脂蛋白 (HDL-C) 含量 ($P<0.05$)；但与对照组相比，酒糟组血清中低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 和葡萄糖 (GLU) 水平无显著差异。

表 5 饲料添加酒糟对母猪血清中脂质代谢指标的影响

Table 5 Effects of dietary distiller's grains on lipid metabolism indexes in serum of sows

项目	对照组 CTL	酒糟组 DG	P-值 P-value
TC (mmol/L)	1.71±0.35	2.51±0.49	0.009
TG (mmol/L)	0.20±0.02	0.23±0.01	0.016
HDL-C (mmol/L)	1.31±0.25	2.35±0.61	0.003
LDL-C (mmol/L)	0.30±0.03	0.35±0.06	0.107
GLU (mmol/L)	1.27±0.05	1.26±0.15	0.910

2.4 饲料添加酒糟对母猪抗氧化指标的影响

进一步对母猪血清和胎盘抗氧化指标进行分析发现，妊娠后期在饲料中添加酒糟提高了母猪血清

中 T-SOD、CAT 水平 ($P<0.01$)，但对 T-AOC、MDA、GSH-Px 等指标无显著影响 (表 6)。

表 6 饲料添加酒糟对母猪血清抗氧化指标的影响

Table 6 Effects of dietary distiller's grains on serum antioxidant indices of sows

项目	对照组 CTL	酒糟组 DG	P-值 P-value
T-AOC ($\mu\text{mol/mL}$)	20.59 \pm 2.42	23.61 \pm 2.92	0.080
T-SOD (U/mL)	153.47 \pm 17.36	183.51 \pm 13.07	0.007
MDA (nmol/mL)	3.84 \pm 0.48	3.52 \pm 0.28	0.199
GSH-Px (U/mL)	467.97 \pm 31.38	503.03 \pm 66.82	0.282
CAT (U/mL)	3.81 \pm 0.37	4.54 \pm 0.34	0.006

此外，妊娠后期在饲料添加酒糟提高了母猪胎盘组织中 GSH-Px 水平 ($P<0.01$)，但对 T-AOC、

T-SOD、MDA、CAT 等抗氧化指标无显著影响 ($P>0.05$) (表 7)。

表 7 饲料添加酒糟对母猪胎盘抗氧化指标的影响

Table 7 Effects of dietary distiller's grains on placental antioxidant indices in sows

项目	对照组 CTL	酒糟组 DG	P-值 P-value
T-AOC ($\mu\text{mol/mgprot}$)	10.04 \pm 1.22	11.92 \pm 1.84	0.064
T-SOD (U/mgprot)	46.61 \pm 6.67	55.67 \pm 9.47	0.084
MDA (nmol/mgprot)	3.28 \pm 0.45	3.44 \pm 0.32	0.487
GSH-Px (U/mgprot)	17.37 \pm 2.35	33.64 \pm 8.29	0.001
CAT (U/mgprot)	18.27 \pm 2.38	17.70 \pm 2.82	0.712

2.5 饲料添加酒糟对母猪血清炎症因子水平的影响

通过对母猪血清中炎症细胞因子进行分析发现，

在妊娠后期饲料中添加酒糟显著降低了血清中炎症细胞因子 IL-2 的水平 ($P<0.05$)，但对 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 等无显著影响 (表 8)。

表 8 饲料添加酒糟对母猪血清炎症因子水平的影响

Table 8 Effects of dietary distiller's grains on serum levels of inflammatory factors in sows

项目	对照组 CTL	酒糟组 DG	P-值 P-value
IL-1 β (pg/mL)	4.83 \pm 0.56	4.61 \pm 0.35	0.433
IL-2 (pg/mL)	440.95 \pm 16.20	415.46 \pm 13.20	0.014
IL-6 (pg/mL)	153.17 \pm 38.96	168.77 \pm 41.43	0.517
TNF- α (ng/mL)	2.30 \pm 0.44	2.00 \pm 0.32	0.225

2.6 饲料添加酒糟对母猪肠道菌群的影响及相关性分析

将采取对照组与 DG 组粪便样品进行 16S

rDNA 检测。分析结果表明，在母猪妊娠后期饲料中添加 1%DG 对母猪肠道菌群存在影响。添加 DG 对母猪肠道微生物 β 多样性的影响如图 1-A 所示，PCA 结果分析表明，与对照组相比，母猪妊娠后期饲料中添加 1%DG 对母猪肠道微生物群聚类无显著影响 ($P>0.05$)。见图 1-B，饲料中添加 DG 对母猪肠道微生物菌群 chao1 指数、observed-species、PD-whole-tree 和 shannon 指数均无显著差异 ($P>0.05$)。DG 对母猪肠道微生物门水平相对丰度影响如 1-C 所示，母猪肠道微生物主要由 *Firmicutes*、*Bacteroidota*、*Proteobacteria*、*Spirochaetota* 构成，占肠道菌群总数超 90%。与对照组相比，DG 组极显著降低妊娠母猪 *Spirochaetota* 的相对丰度 ($P<0.01$ ，图 1-D)，对 *Firmicutes*、*Proteobacteria* 的相对丰度无显著差异 ($P>0.05$)。DG 对母猪肠道微生物科水平相对丰

度影响如 1-E 所示，妊娠母猪的肠道微生物主要由 *Lactobacillaceae*、*Oscillospiraceae*、*Lachnospiraceae*、*Christensenellaceae*、*Clostridiaceae*、*Clostridia_UCG-014*、*Enterobacteriaceae*、*Prevotellaceae* 构成。与对照组相比，DG 组显著提升了妊娠母猪 *Clostridiaceae* 丰度 ($P<0.05$ ，图 1-F) 对 *Lactobacillaceae*、*Lachnospiraceae*、*Christensenellaceae*、*Clostridia_UCG-014*、*Enterobacteriaceae* 无显著影响 ($P>0.05$)。饲料中添加 DG 对妊娠母猪肠道微生物属水平的相对丰度影响如图 1-G，妊娠母猪的肠道微生物主要由 *Lactobacillu*、*Christensenellaceae_R-7_group*、*UCG-002*、*Clostridia_UCG-014*、*Clostridium_sensu_stricto_1*、*uncultured*、*Escherichia-Shigella*、*RF39*、*Treponema* 构成。与对照组相比，饲料中添加 DG 显著降低了肠道微生物 *Treponema* 的相对丰度 ($P<0.05$ ，如图 1-H)。

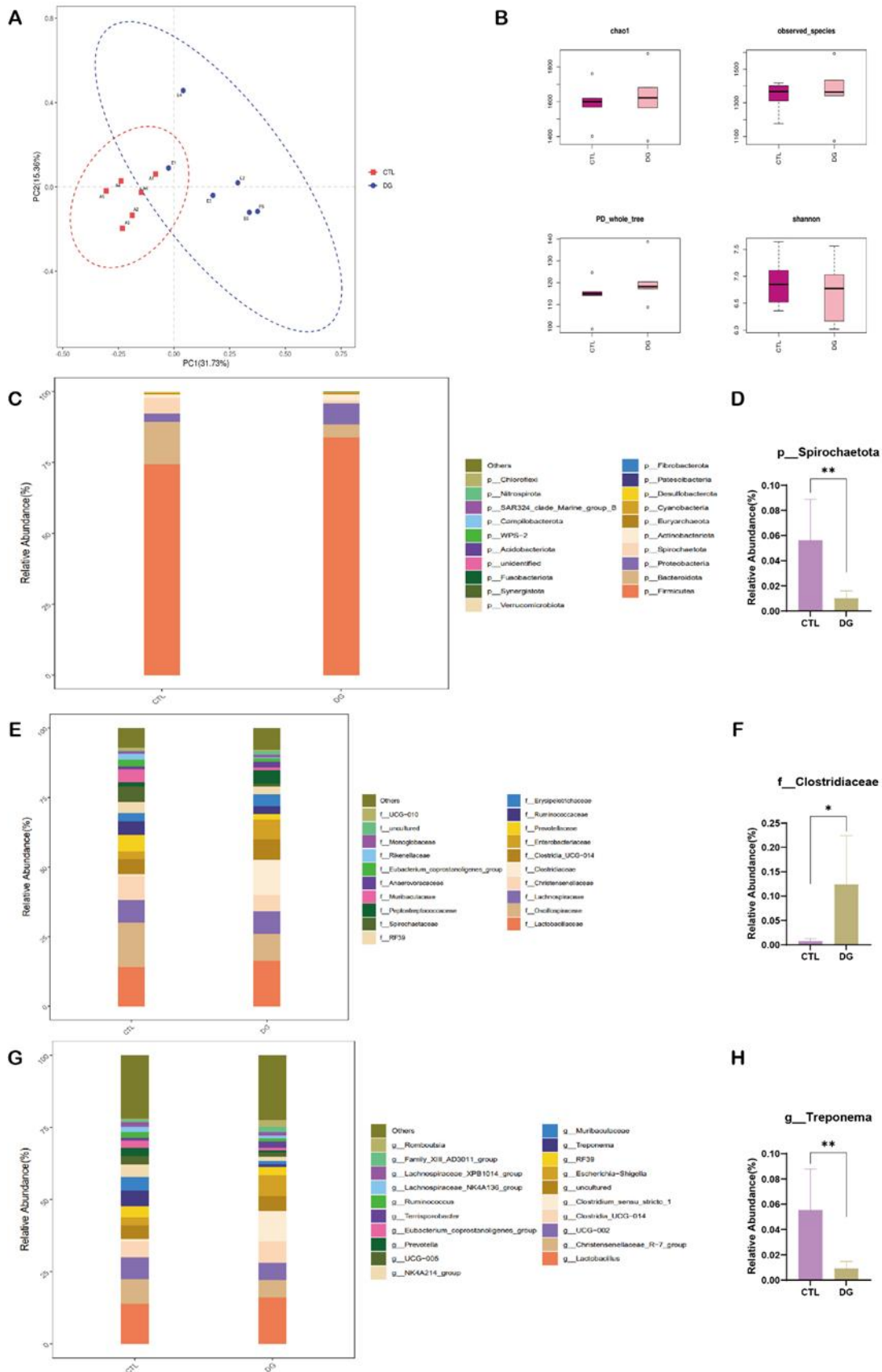


图1 DG对母猪肠道微生物的影响

(A) DG对母猪肠道微生物群β多样性的影响；(B) DG对母猪肠道微生物群α多样性的影响；(C) DG对母猪肠道微生物群门水平的影响；(D) Spirochaetota的相对丰度；(E) DG对母猪肠道微生物群科水平的影响；(F) Clostridiaceae的相对丰度；(G) DG对母猪肠道微生物群属水平的影

响; (H) *Treponema*的相对丰度;

Fig.1 Effects of DG on gut microbiota of sows

(A) Effect of DG on the β diversity of gut microbiota; (B) Effect of DG on α diversity of gut microbiota; (C) Modulation of DG on gut microbiota phyla; (D) Relative abundance of Spirochaetota ; (E) Modulation of DG on gut microbiota family; (F) The relative abundance of Clostridiaceae ; (G) Modulation of DG on gut microbiota genera; (H) The relative abundance of *Treponema* ;

3 讨论

3.1 饲料添加酒糟对母猪繁殖性能的影响

母猪繁殖性能下降会严重影响到猪场经济效益。目前,我国生猪整体呈亚健康状态,而影响母猪繁殖性能的因素不仅包括遗传因素的影响,还有营养因素、疾病因素、环境因素和繁殖技术、饲养管理等因素的影响。2012年Li研究表明^[8],给母猪饲喂含有大量氧化脂肪的可溶性干酒糟(distillers dried grains with solubles, DDGS)可能会增加弱仔的发病率,并影响后续生长。DDGS中的纤维含量可以稳定血液中的葡萄糖和胰岛素水平,并增加限饲妊娠母猪的饱腹感^[9]。在母猪日粮中长期添加DDGS可改善产仔数^[10]。但给哺乳期母猪喂食含有0、10、20或30%DDGS的日粮对其采食量、窝深变化、窝重增加、仔猪断奶前死亡率或断奶至发情期间隔没有影响^[11]。对照组相比较,在妊娠第30天至第114天给母猪喂食高水平的日粮精氨酸可以改善产仔数,减少仔猪出生体重的产仔内变异,并降低矮猪的比例^[12]。胎盘是连接母体营养供应和胎儿肌肉纤维生长发育的重要器官。Wilson等人^[13]认为提高胎盘大小、功能和效率,可以降低IUGR仔猪的发病率。Karowicz-Bilinska等人指出^[14],80%的IUGR病例可归因于子宫-胎盘循环和血管功能不全。Wu等人提出^[15],IUGR主要由胎盘血管生长受损和子宫胎盘血流量减少引起。本试验研究发现,在母猪妊娠后期饲料中补充1%酒糟可提升健仔数与仔猪窝重,降低IUGR仔猪数;并且改善胎盘重与胎盘效率,从而提高母猪繁殖性能。可考虑添加酒糟含量是否有助于提升母猪胎盘效率。

3.2 饲料添加酒糟对母猪初乳成分的影响

作为仔猪哺乳期唯一的营养来源,猪初乳的重要性不言而喻。初乳中包含了新生仔猪阶段所需的营养和免疫成分,包括碳水化合物、脂质、蛋白质及尿素氮等。Paul Ciszuk等人提出,乳中尿素氮与血液中尿素氮呈正相关^[16],血液中尿素氮与尿液中尿素氮成正比,而血液中尿素浓度高使得母畜受孕率下降^[17]。Klobasa等人研究发现^[18],母猪初乳中免疫球蛋白含量占其总蛋白含量的80%左右。IgA是在母猪乳和粘膜分泌物中发现的主要免疫球蛋白,其主要功能为抑制粘膜表面病原菌的附着^[19]。而本研究发现,与对照组相比,在母猪妊娠后期饲料中补充1%酒糟可显著降低初乳中尿素氮含量,免疫球蛋白均无显著差异,但DG组IgA含量相对对照组提高了12.5%,存在上升趋势。

3.3 饲料添加酒糟对母猪血清中脂代谢的影响

在母猪妊娠晚期,TG、TC、HDL-C和LDL-C水平的增加,更适应胎儿的生长和胎盘营养代谢的需求^[20-22]。胎儿血脂、胎儿生长和脂肪量也与母体血清TG有关^[23]。而低血HDL-c水平与孕妇先兆子痫和妊娠期糖尿病有关^[24]。本研究表明,与对照组相比,饲料中添加1%的DG可显著提高TC、TG、HDL-C含量。因此,在母猪妊娠后期在饲料中添加1%的酒糟能促进胎儿的生长,从而提高仔猪初生重,且可以预防母猪糖尿病。

3.4 饲料添加酒糟对母猪抗氧化指标的影响

在母猪妊娠过程中,氧化应激会导致母猪泌乳和繁殖性能下降,最终缩短母猪寿命^[25]。胎盘中的血管会因为母体和胎儿之间营养物质交换需求的增加而生成^[26]。HUANG等人研究表明^[27],仔猪出生体重与胎盘血管密度呈显著正相关,通

过改善胎盘的氧化应激可促进胎盘血管生成，能够显著的提高仔猪初生重。母体发生氧化应激会导致血管内皮损伤，诱发胎盘血管异常发育^[27]。Malti 等人研究表明，母体肥胖会导致 MDA 水平升高，并直接影响胎儿氧化还原平衡^[28]。本研究表明，在妊娠母猪后期饲料中补充 1%酒糟极显著提高血清中 T-SOD 与 CAT 水平，胎盘中的 GSH-Px 水平也有显著提升。但对血清与胎盘 MDA 均无显著影响。

3.5 饲料添加酒糟对母猪血清炎症因子浓度的影响

促炎细胞因子过多会导致机体获得免疫性炎症并传播^[29]。炎症因子中 IL-1 β 、IL-2、IL-6、TNF- α 均为促炎因子^[30]。IL-2 是广谱增强因子，能增强自然杀伤细胞的活性，诱导 T 淋巴细胞产生干扰素，B 淋巴细胞也可受 IL-2 作用，发生增殖反应^[31]。而降低血浆中 IL-1 β 和 TNF- α 含量，对缓解后代仔猪体内炎症水平具有一定帮助^[32]。李展峰研究发现，降低血清与胎盘中的 IL-1 β 、IL-6 可改善胎盘功能^[33]。本研究结果，在妊娠母猪后期饲料中补充 1%酒糟对 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 无显著影响，但可显著降低 IL-2。

3.6 饲料添加酒糟对母猪肠道微生物群的影响

机体中肠道微生物丰度与机体的代谢、免疫有着紧密联系^[34]。在母猪妊娠期间，肠道菌群丰度也对母猪机体健康起着至关重要的作用^[35]。

Naama Geva-Zatorsky 等人研究发现，肠道菌群可促进机体免疫力的调节^[36]。Qing Niu 等人研究发现，与育肥猪相比较，母猪具有独特的肠道微生物结构^[37]。因此，本试验采集母猪粪便进行 16S rDNA 分析。结果显示，饲料中添加 DG 对母猪肠道微生物群的 α 和 β 多样性无显著影响。母猪肠道中主要由厚壁菌门 (*Firmicutes*)、拟杆菌门 (*Bacteroidota*)、变形菌门 (*Proteobacteris*) 和螺旋菌门 (*Spirochaetota*) 构成，占肠道菌群总数超 90%，是猪与人类肠道微生物中最主要的菌门^[38]。在门水平上，本结果显示，与对照组相

比，DG 组极显著降低妊娠母猪螺旋体门

(*Spirochaetota*) 的相对丰度。肠道内 *Spirochaetota* 的丰度下调时，可有效促进肠道内微生物群的平衡^[39]。在科水平上，与对照组相比，DG 组显著提升了妊娠母猪肠道内梭菌科 (*Clostridiaceae*) 的相对丰度，*Clostridiaceae* 表现模式为 *Clostridium*。而肠道内 *Clostridium* 的相对丰度上调时，可降低病原体的存活率，进而保护机体健康^[39]。在属水平上，与对照组相比，饲料中添加 DG 显著降低了肠道微生物密螺旋体属 (*Treponema*) 的相对丰度，*Treponema* 是肠道内典型的致病菌^[40]。因此，试验结果表明，饲料中添加 DG 可通过上调 *Clostridiaceae* 的相对丰度，以及降低 *Spirochaetota*、*Treponema* 的相对丰度，可改善妊娠母猪机体健康，进而提高母猪利用率。

4 结论

综上所述，母猪妊娠后期饲料中补充 1%馥郁香型酒糟可改善母猪抗氧化能力，降低炎症细胞因子水平，降低初乳中尿素氮含量，提高仔猪初生窝重和健仔数，减少 IUGR 仔猪数，上调 *Clostridiaceae* 的相对丰度，以及降低 *Spirochaetota*、*Treponema* 的相对丰度，可见妊娠后期补充酒糟可改善母猪繁殖性能，相关作用机制有待进一步研究。

参考文献；

- [1] SPIEHS M J, WHITNEY M H, SHURSON G C. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota [J]. Journal of animal science, 2002, 80(10): 2639-45.
- [2] 王肇颖, 肖敏. 白酒酒糟的综合利用及其发展前景 [J]. 酿酒科技, 2004,
- [3] OLIVIERO C, HEINONEN M, VALROS A, et al.

- Environmental and sow-related factors affecting the duration of farrowing [J]. *Animal Reproduction Science*, 2010, 119(1-2): 85-91.
- [4] OLIVIERO C, JUNNIKKALA S, PELTONIEMI O. The challenge of large litters on the immune system of the sow and the piglets [J]. *Reproduction in Domestic Animals*, 2019, 54(S3): 12-21.
- [5] ANDERSSON E, FRÖSSLING J, ENGBLOM L, et al. Impact of litter size on sow stayability in Swedish commercial piglet producing herds [J]. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2016, 58(1):
- [6] SCHILD S-L A, FOLDAGER L, RANGSTRUP-CHRISTENSEN L, et al. Characteristics of Piglets Born by Two Highly Prolific Sow Hybrids [J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020, 7(
- [7] JU M, WANG X, LI X, et al. Effects of Litter Size and Parity on Farrowing Duration of Landrace × Yorkshire Sows [J]. *Animals*, 2021, 12(1):
- [8] LI X. Effects of feeding diets containing dried distillers grains with solubles (DDGS) to sows on maternal and offspring performance [M]. 2012.
- [9] DE LEEUW J, ZONDERLAND J J, VERSTEGEN M. Effects of levels and sources of dietary fermentable non-starch polysaccharides on blood glucose stability and behavior of group-housed pregnant gilts [J]. *APPLIED ANIMAL BEHAVIOUR SCIENCE*, 2005, 94 (1-2)(15-29.
- [10] G. X, K. B S, J. J L, et al. Effects of adding increasing levels of corn dried distillers grains with solubles (DDGS) to corn-soybean meal diets on growth performance and pork quality of growing-finishing pigs. [J]. *Journal of animal science*, 2007,
- [11] SONG M, BAIDOO S K, SHURSON G C, et al. Dietary effects of distillers dried grains with solubles on performance and milk composition of lactating sows [J]. *Journal of animal science*, 2010, 88(10): 3313-9.
- [12] WU G, BAZER F W, DAVIS T A, et al. Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease [J]. *Amino acids*, 2009, 37(1): 153-68.
- [13] WILSON M E, BIENSEN N J, FORD S P. Novel insight into the control of litter size in pigs, using placental efficiency as a selection tool [J]. *Journal of animal science*, 1999, 77(7): 1654-8.
- [14] KIM B G, LINDEMANN M D, CROMWELL G L, et al. The correlation between passage rate of digesta and dry matter digestibility in various stages of swine [J]. *Livestock Science*, 2007, 109(1): 81-4.
- [15] WU G, BAZER F W, WALLACE J M, et al. Board-invited review: intrauterine growth retardation: implications for the animal sciences [J]. *Journal of animal science*, 2006, 84(9): 2316-37.
- [16] CISZUK P, GEBREGZIABHER T. Milk Urea as an Estimate of Urine Nitrogen of Dairy Cows and Goats [J]. *ACTA AGRICULTURAE SCANDINAVICA SECTION A-ANIMAL SCIENCE*, 1994,
- [17] WEBB E C, DE BRUYN E. Effects of Milk Urea Nitrogen (MUN) and Climatological Factors on Reproduction Efficiency of Holstein Friesian and Jersey Cows in the Subtropics [J]. *Animals : an open access journal from MDPI*, 2021, 11(11):

- [18] KLOBASA F, WERHAHN E, BUTLER J E. Composition of sow milk during lactation [J]. *Journal of animal science*, 1987, 64(5): 1458-66.
- [19] BRANDTZAEG P. Mucosal Immunity: Induction, Dissemination, and Effector Functions [J]. *Scandinavian Journal of Immunology*, 2009, 70(6): 505-15.
- [20] BURTON G J, JAUNIAUX E, CHARNOCK-JONES D S. The influence of the intrauterine environment on human placental development [J]. *The International Journal of Developmental Biology*, 2010, 54(2-3): 303-12.
- [21] ZHAO Y, FLOWERS W, SARAIVA A, et al. Effect of social ranks and gestation housing systems on oxidative stress status, reproductive performance, and immune status of sows [J]. *JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE*, 2013,
- [22] TANGHE S, MISSOTTEN J, RAES K, et al. The effect of different concentrations of linseed oil or fish oil in the maternal diet on the fatty acid composition and oxidative status of sows and piglets [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2014, 99(5): 938-49.
- [23] HERRERA E, ORTEGA-SENOVILLA H. Lipid metabolism during pregnancy and its implications for fetal growth [J]. *Current pharmaceutical biotechnology*, 2014, 15(1): 24-31.
- [24] MIEHLE K, STEPAN H, FASSHAUER M. Leptin, adiponectin and other adipokines in gestational diabetes mellitus and pre-eclampsia [J]. *Clinical endocrinology*, 2012, 76(1): 2-11.
- [25] COSTA K A, MARQUES D B D, DE CAMPOS C F, et al. Nutrition influence on sow reproductive performance and conceptuses development and survival: A review about l-arginine supplementation [J]. *Livestock Science*, 2019, 228(97-103).
- [26] MANNA S K, MUKHOPADHYAY A, AGGARWAL B B. Resveratrol suppresses TNF-induced activation of nuclear transcription factors NF-kappa B, activator protein-1, and apoptosis: potential role of reactive oxygen intermediates and lipid peroxidation [J]. *Journal of immunology (Baltimore, Md : 1950)*, 2000, 164(12): 6509-19.
- [27] HUANG S, WU Z, HUANG Z, et al. Maternal supply of cysteamine alleviates oxidative stress and enhances angiogenesis in porcine placenta [J]. *Journal of animal science and biotechnology*, 2021, 12(1): 91.
- [28] MALTI N, MERZOUK H, MERZOUK S A, et al. Oxidative stress and maternal obesity: Feto-placental unit interaction [J]. *Placenta*, 2014, 35(6): 411-6.
- [29] ZHAO H, WU L, YAN G, et al. Inflammation and tumor progression: signaling pathways and targeted intervention [J]. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 2021, 6(1):
- [30] HU R, WU S, LI B, et al. Dietary ferulic acid and vanillic acid on inflammation, gut barrier function and growth performance in lipopolysaccharide-challenged piglets [J]. *Animal Nutrition*, 2022, 8(144-52).
- [31] ZHOU J, AO X, LEI Y, et al. *Bacillus subtilis* ANSB01G culture alleviates oxidative stress and cell apoptosis induced by dietary zearalenone in first-

- parity gestation sows [J]. *Animal nutrition (Zhongguo xu mu shou yi xue hui)*, 2020, 6(3): 372-8.
- [32] 杨俊, 赵小刚, 张桂红, et al. 哺乳母猪饲料中添加鱼油对母猪泌乳性能的影响 %J *饲料研究* [J]. 2024, 05): 26-31.
- [33] 李展峰. 妊娠后期日粮中添加白藜芦醇对母猪繁殖性能的影响 [D], 2022.
- [34] TREMAROLI V, BÄCKHED F. Functional interactions between the gut microbiota and host metabolism [J]. *Nature*, 2012, 489(7415): 242-9.
- [35] DUAN X, WANG X, LI Z, et al. Effects of supplemental feeding of Chinese herbal mixtures to perinatal sows on antioxidant capacity and gut microbiota of sows and their offspring piglets [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2024, 15(
- [36] GEVA-ZATORSKY N, SEFIK E, KUA L, et al. Mining the Human Gut Microbiota for Immunomodulatory Organisms [J]. *Cell*, 2017, 168(5): 928-43.e11.
- [37] NIU Q, LI P, HAO S, et al. Characteristics of Gut Microbiota in Sows and Their Relationship with Apparent Nutrient Digestibility [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20(4):
- [38] YATSUNENKO T, REY F E, MANARY M J, et al. Human gut microbiome viewed across age and geography [J]. *Nature*, 2012, 486(7402): 222-7.
- [39] BERNAD-ROCHE M, BELLÉS A, GRASA L, et al. Effects of Dietary Supplementation with Protected Sodium Butyrate on Gut Microbiota in Growing-Finishing Pigs [J]. *Animals*, 2021, 11(7):
- [40] NOWLAND T L, KIRKWOOD R N, PLUSH K J, et al. Exposure to maternal feces in lactation influences piglet enteric microbiota, growth, and survival preweaning [J]. *Journal of Animal Science*, 2021, 99(7):